

Aktenzeichen  
Neuanmeldung  
VEGA GRIESHABER KG

Unser Zeichen  
V 7445 / UP

München,  
17 July 2003

---

VEGA Grieshaber KG  
Hauptstr. 1-5, 77709 Wolfach, Deutschland

---

Method and device for determining an expectancy range for a filling level echo and a false  
echo

---

#### **PRIORITY CLAIM**

This application claims the benefit of U.S. Provisional Patent Application Serial No.  
60/397,590 filed on July 19, 2002 which is expressly incorporated herein, in its entirety, by  
reference.

UP:UP

## **TECHNISCHES GEBIET**

Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein ein Verfahren zur Verbesserung der Wiedererkennung von Füllstand- und Störechos in einer Füllstandshüllkurve unter Verwendung derer, beispielsweise in der Füllstandsmesstechnik, der aktuelle Füllstand mit einem Füllstandmessgerät bestimmt wird. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren, das unter Verwendung bestimmter mathematischer Algorithmen unter Berücksichtigung der Summe der von dem Füllstandmessgerät in einem in der Vergangenheit liegenden Zeitfenster empfangenen Echos, die normalerweise als Echo- oder als Füllstandshüllkurve bezeichnet wird, für ein bestimmtes in der Zukunft liegendes Zeitfenster Erwartungsbereiche prognostiziert, in denen zukünftig liegende Füllstand- oder Störechos zu erwarten sind.

Weiterhin betrifft die Erfindung eine Auswerteeinrichtung zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens, insbesondere zur Analyse von in der Vergangenheit empfangenen Füllstandshüllkurven und zur Prognose von Erwartungsbereichen für in der Zukunft zu erwartende Echos. Von besonderem Interesse sind hierbei insbesondere nach dem Impulsechoprinzip arbeitende Ultraschall- oder Radarfüllstandsmessgeräte.

Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Computerprogramm zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Füllstandmessgerät oder einer erfindungsgemäßen Auswerteeinrichtung sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt. Unter einem solchen Computerprogrammprodukt kann jedes beliebige computerlesbare Medium wie beispielsweise eine CD-ROM, eine Diskette oder eine Wechselseitplatte, aber auch ein von einem Server ladbares Computerprogramm verstanden werden.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann als Echo allgemein der Bereich um ein lokales Maximum in einer Füllstandshüllkurve verstanden werden, der einen frei wählbaren

Schwellwert überschreitet. Als Echodata können die durch einen Analog-Digital-Wandler durch Abtasten der Füllstandshüllkurve erzeugten Daten mit beispielsweise den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude verstanden werden, die die Füllstandshüllkurve zu diskreten Zeitpunkten repräsentieren.

Nach dem Impulsechoprinzip arbeitende Füllstandsmessgeräte, die ein reflektiertes Echosignal abtasten, erzeugen aus dem abgetasteten Echosignal eine Reihe von Informationen zu jedem Echo in der Füllstandshüllkurve. Die Erzeugung einer Hüllkurve aus empfangenen Echosignalen ist hinlänglich bekannt, weshalb es zu dieser Technik keiner weiteren Erläuterungen bedarf (siehe beispielsweise: DE 44 07 369 C2; M. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", 2. Auflage, 1980, McGraw-Hill; Titel: Peter Devine, "Radar level measurement – the users guide", VEGA Controls Ltd., 2000, ISBN 0-9538920-0-X).

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Bei nach dem Impulsechoprinzip arbeitenden Radär- oder Ultraschallfüllstandssensoren wird der Füllstand aus einem bestimmten Echo, das in der Füllstandshüllkurve als den Füllstand repräsentierend detektiert werden kann, ermittelt. Dabei wird die aus einzelnen Echos bestehende Füllstandshüllkurve von einem Analog-Digital-Wandler abgetastet, wodurch die empfangene Füllstandshüllkurve einem Mikroprozessor oder Mikrocontroller zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung gestellt wird. Die empfangene Füllstandshüllkurve umfasst jedoch nicht nur das Füllstandecho, das für den aktuellen Füllstand repräsentativ ist, sondern umfasst weiterhin häufig auch Störchos, die beispielsweise durch Mehrfachreflexionen oder durch Reflexion an Behältereinbauten verursacht werden.

Um in einer derartigen Füllstandshüllkurve nur das tatsächliche Füllstandecho zu erkennen bzw. die Störreflexionen auszufiltern, wird eine Vorverarbeitung der Füllstandshüllkurve

erforderlich. Bei dieser Vorverarbeitung der Füllstandhüllkurve werden die Echos mit Hilfe Verfahren der Bildverarbeitung, wie beispielsweise Filterung, Mittelung, Kantenerkennung, Selektion und Klassifikation aufgearbeitet. Die so aufbereitete Füllstandhüllkurve wird anschließend nach Echos, die für das Füllgut repräsentativ sind, bzw. nach Störreflexionen untersucht und analysiert. Mit Hilfe der so aufbereiteten Echos, die beispielsweise Daten, wie Ort, Amplitude und Breite der Echos umfassen, kann dann eine Entscheidung getroffen werden, welches Echo für den tatsächlichen Füllstand repräsentativ ist und welches nicht. Wird ein Echo als für den aktuellen Füllstand repräsentativ detektiert, so entspricht der Ort des analysierten Echos dem gesuchten Füllstandswert.

Da, wie bereits ausgeführt, eine empfangene Füllstandhüllkurve stets auch Störechos umfassen kann, müssen diese sicher erkannt werden, um nicht aus einem solchen fälschlicherweise den Füllstand zu bestimmen. Ein bekanntes Kriterium, zur Beurteilung, ob ein Echo ein Füllstand oder ein Störecho ist, besteht darin, dass als Füllstandecho stets das Echo verwendet wird, das die größte Amplitude aufweist. Dieses Kriterium ist jedoch als unsicher zu beurteilen, da beispielsweise durch ein im Signalausbreitungsweg befindlicher Störgegenstand, der sich näher am Empfänger des Füllständmessgerät befindet als der aktuelle Füllstand, in aller Regel ein stärkeres Echo hervorrufen wird, als durch den Füllstand selbst. Somit sollte dieses Kriterium niemals alleine, sondern immer nur in Verbindung mit weiteren Bedingungen kombiniert angewendet werden.

So ist aus der DE 42 23 346 A1 eine Anordnung und ein Verfahren zur berührungslosen Abstandsmessung mit Hilfe von Impuls-Echo-Signalen bekannt. Diese Anordnung vergleicht ein Impuls-Echo-Signal zur exakteren Ermittlung der Signallaufzeiten mit in einem neuronalen Netzwerk abgespeicherten Signalmustern. Es soll insbesondere die Signallaufzeit auch dann exakt zu ermitteln sein, wenn das Impuls-Echo-Signal in starkem Maße mit Stör-Echo-Signalen überlagert ist. Mit Hilfe von Parallel-Datenverarbeitungs-Techniken und des assoziativen Vergleichs des empfangenen Signals mit erlernten und im neuronalen Netzwerk

abgespeicherten Mustern ist es weit besser als bisher möglich, die verborgene Information zu regenerieren und damit sehr korrekte Füllstandsdaten zu ermitteln. Durch Anwendung der neuronallassoziativen Signalverarbeitung ist eine komplexe holistische Auswertung des Impuls-Echo-Profiles möglich. Hierbei kann die Messstrecke selbst als intrinsisches Referenzelement benutzt werden, indem Kompensationsgrößen von vorhandenen Störenchos abgeleitet werden.

Aus der DE 42 34 300 A1 ist ein Füllstandmessverfahren bekannt, bei dem die bei einer Befüllung oder Entleerung des Behälters auftretende, durch sich verändernde Signallaufzeit hervorgerufene zeitliche Verschiebung des Nutzechos erfasst wird und dieses Kriterium ausgewertet wird, um das Nutzecho von Störenchos unterscheiden zu können. Es wird hier also zur Unterscheidung eines Nutzechos von einem Störencho überprüft, ob in aufeinanderfolgenden Signalverläufen Echoimpulse enthalten sind, die sich zeitlich kontinuierlich verschieben. Bei Erfassung solcher Echoimpulse werden diese als Nutzecho eingestuft. Der Grundgedanke der hieraus bekannten Verfahrensweise besteht darin, dass Signallaufzeiten bei Reflexion an den Behälterinnenwänden in zeitlicher Hinsicht stabil sind, so dass die Lage solcher Störimpulse auch bei wiederholten Messungen innerhalb des Empfangsbefehls unveränderlich ist. Diese zeitliche Gestabilität innerhalb des Empfangsprofils trifft normalerweise auch für das direkt von der Füllgutoberfläche reflektierte Nutzecho zu.

Andere Verfahren zur Füllstandechoerkennung greifen auf in der Vergangenheit empfangene Echoverhältnisse zurück und vergleichen diese einzeln mit den Echos der aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve. Bei diesen Verfahren werden die empfangenen Echos einer bereits empfangenen Füllstandhüllkurve in einem Speicher abgelegt, um diese anschließend einzeln mit den Daten aus einer nächsten Füllstandhüllkurve vergleichen zu können. Beispielsweise ist aus der EP 0 689 679 B1 ein Verfahren bekannt, das die aktuell empfangenen Echos mit den bereits in der Vergangenheit empfangenen Echos nach einer

Differenzwertbildung ins Verhältnis setzt und daraus unter Verwendung einer Fuzzy-Auswertungseinheit eine Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der ein Echo ein Füllstandecho ist. Problematisch an dieser Vorgehensweise ist zum einen, dass sich dieses Verfahren nur eignet um Mehrfachechos auszufiltern. Zum andern kommt vor allem hinzu, dass mit dem in der EP 0 689 679 B1 offenbarten Verfahren nur ein Vergleich zwischen Echos zu zwei Zeitpunkten möglich ist. Eine Trendbeobachtung des Füllstandechos und eine Trendprognose sowie eine Zuordnung zu Trendbereichen ist nicht möglich.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass bei dem Vergleich der neu empfangenen Echos mit den Echos bereits abgespeicherter Füllstandhüllkurven häufig Zuordnungsprobleme entstehen, da sich die aktuell empfangenen Echos über die Zeit ändern können, obwohl sie von jeweils stets der gleichen Füllstandsoberfläche als Reflektor reflektiert werden. Derartige Probleme entstehen beispielsweise durch die Bildung von Staub bei der Befüllung oder durch das Nachrutschen des Füllgutes beim Entleeren von Schüttgutbehältern.

Um jedoch eine sichere Füllstandsmessung zu gewährleisten, ist es erforderlich, dass ein einmal erkannter Füllstand immer wieder anhand der aktuell empfangenen Echos erkannt wird, und dass nicht etwa fälschlicherweise eine Störreflexion als für den Füllstand repräsentativ gewertet wird. Wenn beispielsweise ein Füllstandsecho zeitweise nicht erfassbar ist, muss dies erkannt werden, so dass es nicht zu einer Zuordnung kommt, bei der beispielsweise ein Störecho als Füllstandsecho identifiziert wird. Diese häufig problematische Zuordnung von Echos aus vergangenen Füllstandhüllkurven zu Daten einer aktuellen Füllstandhüllkurve erfolgt dadurch, dass, wie bereits beschrieben, Daten von aktuellen Echos mit den Daten von bereits empfangenen Echos verglichen werden. Entspricht bei einem derartigen Vergleich etwa mit Hilfe einer Schwellenwertkurve oder einer Maximumssuche ein aktuelles Echo einem bereits empfangenen Echo, so wird angenommen, dass sich diese Echos einander entsprechen, wodurch das neue Echo als wahres Echo identifiziert wird. Unterscheidet sich die Anzahl der einer bereits empfangenen Füllstandhüllkurve enthaltenen

Echos gegenüber der Anzahl der aktuellen Echos, so besteht die Gefahr, dass dabei Zuordnungsfehler auftreten. Ebenso besteht die Gefahr einer Fehlzuordnung, wenn mehrere Echos in einem engen Bereich auftreten.

## **DARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

Das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende technische Problem besteht darin, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem die beschriebenen Zuordnungsprobleme verringert und somit insbesondere eine sicherere Erfassung und Messung von Füllständen, insbesondere bei einer Befüllung oder Entleerung gewährleistet werden kann. Insbesondere soll eine Möglichkeit geschaffen werden, die es ermöglicht, dass ein nach dem Impulsechoprinzip arbeitendes Radar- oder Ultraschallfüllstandmessgerät ein einmal erkanntes Echo – sei es ein Füllstand- oder ein Störencho – auch in Zukunft liegenden Füllstandhüllkurven mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit also solches wieder erkennt.

---

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird dieses technische Problem durch ein Verfahren zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Ultraschall- oder Radarfüllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho gelöst, wobei der zumindest eine Erwartungsbereich unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos bestimmt wird. So kann ein solches Verfahren beispielsweise die Schritte umfassen:

Ermitteln von zumindest einem ersten Füllstand- oder Störencho aus einer ersten Füllstandhüllkurve, wobei die erste Füllstandhüllkurve zu einem ersten Zeitpunkt generiert wurde;

Ermitteln von zumindest einem zweiten Füllstand- oder Störencho aus einer zweiten Füllstandhüllkurve, wobei die zweite Füllstandskurve zu einem zweiten Zeitpunkt generiert wurde, der sich vom ersten Zeitpunkt unterscheidet;

Bestimmen eines Erwartungsbereiches für ein Füllstand- oder Störencho unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens des ermittelten zumindest einen ersten Füllstand- oder Störenchos und des ermittelten zumindest zweiten Füllstand- oder Störenchos.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird das der Erfindung zu Grunde liegende Problem durch ein Füllstandmessgerät mit einer Auswerteeinheit zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Füllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho gelöst, wobei der zumindest eine Erwartungsbereich unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos bestimmt wird.

Gemäß einem dritten Aspekt wird durch eine Auswerteeinrichtung zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Füllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho, wobei der zumindest eine Erwartungsbereich unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos bestimmt wird, ebenfalls das der Erfindung zu Grunde liegende Problem gelöst.

Darüber hinaus löst ein Computerprogramm sowie ein entsprechendes Computerprogrammprodukt zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Ultraschall- oder Radarfüllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho das der Erfindung zu Grunde liegende Problem, indem das Computerprogramm Anweisungen aufweist, mit denen zumindest einen Erwartungsbereich unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos bestimmt werden kann.

Der Erfindung liegt beispielsweise der Gedanke zugrunde, erstmals bei der Echoverarbeitung derart auf mathematische Algorithmen zurückzugreifen, dass unter Berücksichtigung bereits in der Vergangenheit empfangener Füllstandhüllkurven und deren Echos Aussagen über die in Zukunft während einer Befüllung oder Entleerung zu erwartenden Echos einer Füllstandhüllkurve gemacht werden können. Durch eine derartige Vorgehensweise ist es erstmalig beispielsweise möglich, mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit eine Aussage darüber zu treffen, ob ein in einer aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve liegendes Echo ein Füllstand- oder ein Störecho ist.

Ausgangspunkt des vorliegenden Verfahrens ist beispielweise eine durch Analog-Digitalwandlung abgetastete Füllstandhüllkurve. Nach diesem ersten Verfahrensschritt steht die empfangene Füllstandhüllkurve in digitalisierter Form beispielsweise mit den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude zur Verarbeitung durch einen Mikroprozessor oder Mikrokontroller zur Verfügung. Nach dieser Analog-Digitalwandlung werden die Amplituden der Echos der Füllstandhüllkurve in Abhängigkeit von Ort und Zeit in einem zweidimensionalen Array oder einer Matrix gespeichert. Im Falle der drei erfassten Dimensionen Ort  $s$ , Amplitude  $A$  und Zeit  $t$  ist jeder Zeit  $t$  und jedem Ort  $s$  eine bestimmte Amplitude  $A$  zugeordnet, d.h.  $A(t,s)$ . Wird durch das erfasste Echo eine oder mehrere weitere Dimensionen erfasst, wie beispielsweise ein Druck oder eine weitere physikalische Kenngröße, so werden entsprechend die Echodata einem vier- oder mehrdimensionalen Array bzw. einem Tensor abgespeichert. Geht man von einem Echo mit den Dimensionen Ort, Amplitude, Zeit und beispielsweise Druck aus, so hieße dies, dass jeder Zeit  $t$  und jedem Ort  $s$  eine bestimmte Amplitude  $A$  sowie ein bestimmter Druck  $p$  zugeordnet sind:

$$t, s \longrightarrow A, p$$

Die Größe des Arrays, in das die Echodata bei dem Verfahren geschrieben werden, ist hierbei gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung variabel und lässt sich dynamisch durch das Verfahren an verschiedene Parameter, wie beispielsweise Befüllungsgeschwindigkeit oder Zeitfenstergröße anpassen. Die Größe des Zeitfensters entspricht dabei der Zeit, in der in der Vergangenheit liegende Füllstandskurven für die Prognose von in der Zukunft liegenden Echos berücksichtigt werden sollen.

Im Folgenden wird nun das weitere Verfahren anhand der in einem Echo erfassten Dimensionen Ort, Amplitude und Zeit weiter erläutert, wobei, wie bereits erläutert, sich das erfindungsgemäße Verfahren auch auf eine vierte und weitere Dimensionen analog übertragen lässt.

Bei dem Verfahren wird jede Füllstandshüllkurve, die von einem Füllstandmessgerät in äquidistanten Zeitabständen aufgenommen wird, spalten- oder zeilenweise in Abhängigkeit von Zeit und Ort in das Array geschrieben. Jede Füllstandshüllkurve entspricht hierbei einer Zeile bzw. einer Spalte. Die Amplituden der Füllstandshüllkurve werden somit spalten- oder zeilenweise in Abhängigkeit des Ortes und der Zeit in das Array geschrieben, bis das Array, das eine vorbestimmte Größe aufweist, mit Echos von Füllstandshüllkurven gefüllt ist.

Es ist ebenfalls auch möglich, anstatt jede von einem Füllstandmessgerät registrierten Füllstandshüllkurve in das Array zu schreiben, nur jede zweite, dritte oder ganz allgemein, nur jede  $n$ -te Füllstandshüllkurve in das Array aufzunehmen, wobei gilt  $n \in \mathbb{N}^*$ . Dies erweist sich vor allem bei sehr langsamem Füllstandänderungen als sehr vorteilhaft, da dadurch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Speicher- und Rechnerkapazität eingespart werden kann.

Wenn sich bei einer Befüllung oder Entleerung eines Behälters der Füllstand ändert, so variieren damit zwangsläufig die damit verbundenen Dimension des Ortes des empfangenen Echos, welche ihrerseits wiederum eine Funktion der Laufzeit des Echosignals ist. In der Ort-

Zeit-Ebene des Arrays, in dem die Füllstandshüllkurven bzw. die Echos mit ihren Echodata abgespeichert werden, bedeutet dies, dass sich der Ort der Echoamplituden über die Zeit verändert. Analysiert man diesen Zusammenhang genauer, so ist bei einer kontinuierlichen Befüllung oder Entleerung eines Behälters mit über die Behälterhöhe konstantem Querschnitt festzustellen, dass dieser Zusammenhang linear ist. Ist dagegen die Querschnittsfläche des Behälters über die Höhe nicht konstant, so ergeben sich andere mathematische Zusammenhänge, die sich jedoch ebenfalls mit mathematischen Funktionen beschreiben lassen. Sind jedoch die Zeitfenster genügend klein gewählt, und befinden sich darüber hinaus auch die Echoimpulse zur Erzeugung der Füllstandshüllkurven in genügend kleinen zeitlichen Abständen, so ergeben sich in erster und hinreichend genauer Näherung für den Verlauf des Füllstandes lineare Geraden, um die die tatsächlich ermittelten Echos jedoch leicht streuen.

Sobald das Array mit in der Vergangenheit empfangenen Füllstandshüllkurven bzw. den entsprechenden Echos gefüllt ist, können die Erwartungsbereiche, in denen in einem nächsten Zeitfenster Füllstand- bzw. Störechos erwartet werden können, bestimmt werden. Hierzu wird das Array auf bestehende Korrelationen der empfangenen Echos zwischen Ort und Zeit mit Hilfe verschiedener, auf mathematischen Algorithmen basierenden Methoden zur Bildverarbeitung, wie beispielsweise der Filterung, Mittelung oder Selektion, untersucht. Mit Hilfe dieser Methoden werden in jeder Füllstandshüllkurve die Maximalwerte jedes darin befindlichen Echos ermittelt. Diese Maximalwerte dienen in einem weiteren Schritt dazu, um unter Verwendung eines Kantenerkennungsalgoritmus den zeitlichen Verlauf jedes Echos von in zeitlich aufeinander folgenden Füllstandshüllkurven zu erfassen. Unter Verwendung eines derartigen Kantenerkennungsalgoritmus lassen sich beispielsweise in einer visualisierten Darstellung des Arrays "Kanten" erkennen, die die Veränderung jedes Echos über die Zeit erkennen lassen.

In solch einer visualisierten Array-Darstellung, in der die Echoamplituden in Abhängigkeit ihres Ortes und der jeweiligen Zeit in dem Array eingetragen werden, bedeutet dies, dass sich

zu jedem Echo in dem Array zugehörige Geraden herauskristallisieren. Verändert sich hierbei ein Echo in dem Array über die Zeit nicht oder nur wenig, d.h. die Steigung der entsprechenden Geraden ist etwa Null, so ist dies entweder ein Störencho, das von einem stationären Behältereinbauteil reflektiert wird oder es handelt sich um ein Füllstandsecho, wobei sich der Füllstand jedoch nicht ändert. Weist eine Gerade hingegen eine positive oder negative Steigung auf, so ist davon auszugehen, dass diese Gerade dem Füllstand entspricht, bzw. dass diese Gerade Mehrfachechos des Füllstandes entspricht. Diese Mehrfachechos werden dadurch erzeugt, dass ein Impuls, bevor er von dem Füllstandgerät wieder empfangen wird, möglicherweise mehrfach zwischen Füllstand und Behälterdecke reflektiert wird, wodurch diese Mehrfachechos eine längere Laufzeit aufweisen, und somit fälschlicherweise einen geringeren Füllstand vortäuschen.

Da für die weitere Verarbeitung jedoch lediglich die Gerade von Interesse ist, die den wahren Füllstand repräsentiert, müssen die Geraden der Mehrfachechos ausgefiltert werden. Dies geschieht beispielsweise in einem weiteren Verfahrensschritt, in dem diese Geraden mit Hilfe logischer Fuzzy-Abfragen beispielsweise unter Verwendung des in der EP 0 689 679 B1 beschriebenen Verfahrens ausselektiert werden. Nach dieser Selektion umfasst das Array lediglich noch die Spur der Geraden, die für den Füllstand repräsentativ ist. Eine derartige Ausfilterung der Mehrfachechos ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da es mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ebenfalls möglich ist, die in der Zukunft zu erwartenden Mehrfachechos den entsprechenden prognostizierten Erwartungsbereichen zuzuordnen, so dass es nicht zu einer Fehlzuordnung kommen kann. Außerdem weisen Mehrfachechos eine dem Betrag nach größere Steigung auf als das Füllstandecho.

Um nun Rückschlüsse auf die in Zukunft zu erwartenden Echos machen zu können, müssen die in dem in der Vergangenheit liegenden Zeitfenster bereits empfangenen Echos, die in dem Array gespeichert sind, derart ausgewertet werden, dass daraus auf die in Zukunft zu erwartenden Echos geschlossen werden kann. Da man annehmen kann, dass zukünftige Echos

sich an dem Verhalten vergangener Echos orientieren, geschieht dies, indem Erwartungsbereiche am Ende der in dem Array aufgefundenen Geraden bestimmt werden, in denen Füllstand- bzw. Störechos in der Zukunft erwartet werden können.

Dieser Blick in das in Zukunft liegende Zeitfenster kann unter Verwendung bestimmter mathematischer Näherungsverfahren und Algorithmen, wie beispielsweise der Regressionsanalyse ermöglicht werden. Geht man bei dieser Prognose, wie bereits erwähnt, von linearen Verhältnissen aus, so reduziert sich die Problemstellung auf eine lineare Regression. Anstelle der linearen Regression lässt sich jedoch auch jedes andere mathematische Näherungsverfahren, wie beispielsweise ein Polynominterpolations- oder ein Spline-Interpolationsverfahren anwenden. Um die Erwartungsbereich in einem in Zukunft liegenden Zeitfenster zu prognostizieren, werden diese oder ähnliche Verfahren angewendet, um den zeitlichen Verlauf der Geraden, wie sie sich bei nicht verändernden Bedingungen in dem in Zukunft liegenden Zeitfenster fortsetzen müsste, zu bestimmen. Um diese so prognostizierten Geraden müssten in dem in Zukunft liegenden Zeitfenster bei sich nicht ändernden Füllstandsbedingungen die zu erwartenden Füllstand- bzw. Störechos streuen. Um eine quantitative Aussage darüber treffen zu können, ob ein in Zukunft um eine prognostizierte Gerade streuendes Echo tatsächlich dieser Geraden bzw. dem zugehörigen aus der Vergangenheit bekannten Echo zugerechnet werden darf, wird in einem weiteren Verfahrensschritt ein Abweichungsmaß, wie beispielweise die Standardabweichung der in dem aktuellen Array gespeicherten Echos gegenüber der bestimmten Ausgleichsgeraden berechnet. Ein Vielfaches dieses so berechneten Abweichungsmaßes lässt sich dann zur Bestimmung des Streubereichs um die in dem zukünftigen Zeitfenster liegende Gerade verwenden, indem mit einer vorausbestimmbaren Wahrscheinlichkeit hineinfallende Echos tatsächlich diesem so erzeugten Erwartungsbereich zugeordnet werden dürfen.

Die so berechneten Erwartungsbereiche liegen von dem aktuell ausgewerteten Array aus gesehen in der Zukunft und definieren die Bereiche, in denen in einem in Zukunft liegenden

Zeitfenster liegende Echos einem bestimmten, in der Vergangenheit erkannten Echo mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit zugerechnet werden dürfen. In dem als breite des Echobereichs die Standardabweichung oder ein Vielfaches der Standardabweichung verwendet wird, kann man mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass die in einem so definierten Erwartungsbereich zum Liegen kommende Echos tatsächlich den in der Vergangenheit als Füllstand- oder Störecho erkannten Echos entsprechen.

Selbstverständlich kann als Streubereich um eine prognostizierte Gerade auch jede beliebige Breite angenommen werden, jedoch lassen sich in diesem Falle keine Rückschlüsse mehr auf die Wahrscheinlichkeit machen, mit denen ein in einem Erwartungsbereich zum Liegen kommendes Echo tatsächlich diesem zugewiesen werden darf oder nicht.

Das bisher beschriebene erfundungsgemäße Verfahren zielt darauf ab, die Erwartungsbereichbestimmung nicht mit jeder neu registrierten Füllstandhüllkurve erneut durchzuführen, sondern die Erwartungsbereichsbestimmung erst dann erneut auszuführen, wenn das Array mit in der Zukunft liegenden Füllstandhüllkurven bzw. den entsprechenden Echodata erneut aufgefüllt worden ist.

Eine weitere beispielhafte Ausführungsform des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfundung sieht es nun vor, nach jeder neu registrierten Füllstandhüllkurve einen neuen Erwartungsbereich zu bestimmen. Alternativ ist es auch möglich, nach jeder  $n$ -ten ( $n \in \mathbb{N}^*$ ) neu registrierten Füllstandhüllkurve einen neuen Erwartungsbereich zu bestimmen. Hierzu ist es erforderlich, dass eine Umspeicherung der Füllstandhüllkurven in dem Array erfolgt, indem die "ältesten"  $n$  Füllstandhüllkurven gelöscht werden, die verbleibenden Füllstandhüllkurven um  $n$  Spalten verschoben werden, und die so frei werdenden Spalten mit den neu registrierten  $n$  Füllstandhüllkurven beschrieben werden. Diese Ausführungsform ist als besonders vorteilhaft zu beurteilen, da dadurch sehr genau bei der

Erwartungsbereichsbestimmung dem in der jüngsten Vergangenheit liegenden Füllstandverlauf Rechnung getragen werden kann.

Insgesamt kann sich die vorliegende Erfindung als besonders vorteilhaft dadurch erweisen, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren nicht mehr ein Einzelvergleich der aktuell empfangenen Echos mit den bereits in der Vergangenheit empfangenen Echos erfolgt, sondern es werden die aktuell empfangenen Echos einem Erwartungsbereich zugeordnet, in dem zukünftig zu erwartende Echos mit einer vorbestimmten Wahrscheinlichkeit vermutet werden können. Hierdurch können fehlerhafte Messergebnisse weitestgehend ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung kann darin bestehen, dass es mit dem beschriebenen Verfahren nicht nur möglich ist, Erwartungsbereiche zu definieren, in denen Füllstandechos erwartet werden können, sondern es ist ebenso möglich, Erwartungsbereiche zu definieren, in denen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit Störechos zu erwarten sind. Um ein Störecho mit höchster Sicherheit auch als solches zu erkennen, steht somit neben dem Kriterium, dass sich Störechos auf horizontalen Geraden befinden, ein weiteres Kriterium zur Verfügung, nämlich, dass bestimmte Störechos nur in bestimmten Bereichen erwartet werden können.

Konnten im einen in Zukunft liegenden Zeitfenster auftretende Echos der Erwartungsbereich für das Füllstandecho zugeordnet werden, so wird unter Verwendung dieser Echos der aktuelle Füllstand bestimmt. Echos hingegen, die keinem der Erwartungsbereiche für den Füllstand oder ein Störecho zugeordnet werden können, werden verworfen und gehen somit nicht in die Prognose für weiter in Zukunft liegende Erwartungsbereiche ein. Steigt oder fällt der Füllstand in dem in Zukunft liegenden Zeitfenster schneller als im aktuellen Zeitfenster, so wird diese Änderung der Befüllungsgeschwindigkeit durch Anpassung der Steigung des nächsten Erwartungsbereichs angepasst, so dass durch das Verfahren stets den aktuellen Änderungen Rechnung getragen wird.

Wie bereits beschrieben, werden die Echos mit ihren Dimensionen Ort, Amplitude und Zeit in einem zweidimensionalen Array oder einer Matrix abgelegt. Bei der bisher durchgeföhrten Betrachtung reduzierte sich dabei die Analyse der Echos jedoch im Prinzip lediglich auf die Dimensionen Ort und Zeit. Da jedoch jedem Ort und jeder Zeit eine bestimmte Echoamplitude zugeordnet ist, kann eine weitere Klassifikation der Echos aufgrund ihrer Amplituden erfolgen. In einer grafischen Darstellung würde dies bedeuten, dass die visualisierten grafischen Verläufe des Füllstandechos eine bestimmte Lage in einem dreidimensionalen Koordinatensystem einnehmen würden, so dass einem jeden Echo zu einer bestimmten Zeit und einem bestimmten Ort eine zu erwartende Amplitude zugewiesen werden würde.

Da jede Amplitude durch einen bestimmten Wert repräsentiert wird, ist es möglich, die Echos in der Ebene als Geraden visualisiert darzustellen, wobei die Amplituden, die zu einem bestimmten Zeitpunkt und einem bestimmten Ort gehören, durch einen von dem Amplitudenwert bestimmten Farb- oder Grauwert repräsentiert werden.

---

Ein entsprechendes Füllstandmessgerät sowie eine separate Auswerteeinrichtung zur Bestimmung von Erwartungsbereichen in Zukunft liegenden Zeitfenstern, denen zukünftige Echos zugeordnet werden können, umfasst eine Auswerteeinheit mit einem Speicher, in dem eine vorbestimmbare Anzahl von Füllstandhüllkurven mit den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude in einem zweidimensionalen Array oder einer Matrix abgespeichert werden. Weiterhin umfasst die Auswerteeinheit des Füllstandmessgerätes bzw. der Auswerteeinrichtung eine Signalverarbeitungseinheit, die mit Hilfe bestimmter mathematischer Algorithmen, wie beispielsweise der Regressionsanalyse oder der Polynominterpolation die Geradenverläufe der in dem Array abgespeicherten Echos ermittelt. Die Signalverarbeitungseinheit dient weiterhin dazu, um ein Abweichungsmaß der jeweiligen Echos von den berechneten Näherungsgraden zu bestimmen, woraus für das in Zukunft

liegende Zeitfenster die Breite der Erwartungsbereiche bestimmt wird, die sich um die prognostizierte Näherungsgeraden ergeben.

Ein entsprechendes Computerprogramm zur Bestimmung von Erwartungsbereichen von in Zukunft liegenden Füllstandechos führt das erfindungsgemäße Verfahren aus, und lässt sich beispielsweise in einem Auswertprogramm zum Auswerten generierter Hüllkurven als Subroutine implementieren. Derartige Auswertprogramme sind beispielsweise unter der Marke "Echofox®" der Firma VEGA Grieshaber KG, Deutschland, bekannt.

Dementsprechend kann das erfindungsgemäße Verfahren sowie das entsprechend arbeitende Computerprogramm entweder in einer separaten Auswerteeinrichtung implementiert werden oder, wenn es gewünscht ist, unmittelbar in einem Füllstandmessgerät integriert werden.

Füllstandmessgeräte der hier interessierenden Art sind im Übrigen alle bekannten Füllstandmessgeräte, die ein reflektiertes Echosignal abtasten, das heißt, eine Füllstandhüllkurve generieren. Derartige Füllstandmessgeräte sind beispielsweise Ultraschallfüllstandmessgeräte oder Radarfüllstandmessgeräte, insbesondere sogenannten Impulsradarfüllstandmessgeräte.

---

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Im Folgenden ist zur weiteren Erläuterung und zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines im Deckenbereich eines Behälters eingebauten Füllstandmessgerätes;
- Fig. 2 eine schematische Seitenansicht eines Füllstandmessgerätes;
- Fig. 3 eine schematische Seitenansicht einer Auswerteeinrichtung;
- Fig. 4 eine durch einen Analog-Digital-Wandler abgetastete Füllstandshüllkurve;
- Fig. 5 einen Auszug eines Arrays mit abgespeicherten Füllstandshüllkurvendaten;
- Fig. 6 ein Flussdiagramm, das die Schritte zur Erwartungsbereichbestimmung veranschaulicht;
- Fig. 7 ein Array mit darin abgespeicherten Füllstandshüllkurven;
- Fig. 8 das Array der Fig. 7, auf das verschiedene Methoden der Bildverarbeitung angewendet wurden;

- Fig. 9 ein Array mit darin abgespeicherten Echoamplituden;
- Fig. 10 das Array der Fig. 9 nach einer Kantenerkennung;
- Fig. 11 ein Grauwertbild eines Arrays mit Echodata;
- Fig. 12 ein Grauwertbild des Arrays der Fig. 11 nach der Anwendung von Methoden der Bildverarbeitung;
- Fig. 13 in einer grafischen Darstellung mehrere, in seitlicher Abfolge nacheinander gestaffelte Arrays mit prognostizierten Erwartungsbereichen für die Zukunft.

In allen Zeichnungen hinweg sind gleiche Einrichtungen und Einheiten mit übereinstimmenden Bezugszeichen gekennzeichnet.

---

#### **BESCHREIBUNG EINES BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELS DER ERFINDUNG**

---

Aus der schematischen Darstellung gemäß der Fig. 1 ist ersichtlich, dass ein Füllstandmessgerät 10 im Deckenbereich eines Behälters 15 montiert ist. In dem Behälter 15 befindet sich ein Füllgut 16, Schüttgut oder Flüssigkeit, das eine Füllgutoberfläche 17 ausbildet.

Das im Behälter 15 montierte Füllstandmessgerät 1 umfasst ein Gehäuse 12 und eine Antenne 13. Es ist über ein Kabel 14, insbesondere eine sog. 4-20 mA-Zweidrahtschleife, an eine hier nicht dargestellte Stromversorgungs- und Kommunikationseinrichtung angeschlossen.

In der äußerst schematischen Darstellung gemäß der Fig. 2 ist das Füllstandmessgerät 10 mit einer Auswerteeinheit 20, einer Sendeeinheit 21 und einer Empfängereinheit 22 dargestellt. Mit der Sendeeinrichtung 21 werden kurze Radarimpulse oder Ultraschallimpulse über die Antenne 13 in Richtung der Füllgutoberfläche 17 ausgesendet. An der Füllgutoberfläche 17 werden diese Signale reflektiert und über die gleiche Antenne 13 empfangen. In der Empfängereinrichtung 22 werden diese gemäß dem Stand der Technik weiter verarbeitet und in der Auswerteeinrichtung 20 ausgewertet. Hierzu wird in bekannter Weise eine Füllstandhüllkurve aus den einzelnen Echosignalen gebildet. Diese Füllstandhüllkurve wird dann wiederum mittels mathematischer Methoden in der Auswerteeinheit 20 näher untersucht. Hierzu umfasst die Auswerteeinheit 20 einen Speicher 26, eine Bildverarbeitungseinheit 27 sowie eine Signalverarbeitungseinheit 28. Vor allem wird die Füllstandhüllkurve unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens be- und ausgewertet, insbesondere wie es im folgenden beschrieben wird.

Anstatt der Auswertung der Signale in der Auswerteeinrichtung 20 des Füllstandmessgerätes 10, kann die Auswertung ebenfalls mit der in Fig. 3 dargestellten Auswerteeinrichtung 30 erfolgen. Die Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer Auswerteeinrichtung 30, die die von dem Füllstandmessgerät 10 der Fig. 1 empfangenen Signale unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens be- und auswertet. Hierzu umfasst die Auswerteeinrichtung 30 einen Speicher 36, eine Bildverarbeitungseinheit 37 sowie eine Signalverarbeitungseinheit 38. Im Unterschied zu dem Füllstandmessgerät der Fig. 2 kann die Auswerteeinrichtung 30 an einem anderen Ort als direkt an einem Behälter befinden und ist daher geeignet, Füllstandhüllkurven mehrerer Füllstandmessgeräte gleichzeitig auszuwerten.

Als Grundlage für die Signalverarbeitung in der Füllstandmesstechnik dienen durch einen Analog-Digital-Wandler abgetastete Füllstandhüllkurven. Eine derartig in konstanten Zeitabständen abgetastete Füllstandhüllkurve zeigt die Fig. 4. Global betrachtet liegen in der in Fig. 4 grafisch dargestellten Füllstandhüllkurve drei Echos vor, wobei jedoch durch bloße

Betrachtung dieser Füllstandhüllkurve nicht entschieden werden kann, welches der drei Echos das tatsächliche Füllstandecho repräsentiert. Prinzipiell kann jedes der drei Echos sowohl Füllstand- als auch ein Stör- oder ein Mehrfachecho repräsentieren. Wurde jedoch einmal ein Echo als Füllstand- oder Störecho erkannt, so ist es mit dem erfundungsgemäßen Verfahren möglich, für in Zukunft auftretende Echos mit sehr großer Wahrscheinlichkeit vorauszusagen, ob ein Echo ein Füllstand- oder ein Störecho ist.

Hierzu wird eine in äquidistanten Zeitabständen erzeugte Füllstandhüllkurve, wie beispielsweise in Fig. 4 dargestellt, nacheinander spalten- oder zeilenweise in einem zweidimensionalen Array oder einer Matrix in Abhängigkeit von Ort und Zeit abgespeichert. Bei mehreren aufgenommenen Füllstandhüllkurven entsteht so ein Array mit den Dimensionen Ort und Zeit, wie es die Fig. 5 zeigt. In dem in Fig. 5 dargestellten Ausschnitt eines Arrays repräsentieren die einzelnen Spalten die zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommenen Füllstandhüllkurven und die Zeilen den Ort der einzelnen Echos. In dem Array der Fig. 5 sind somit die Echoamplituden  $A$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  (Spalte) und dem Ort  $s$  (Zeile) aufgetragen:

$$A(t, s).$$

Die maximale Spaltenanzahl des Arrays lässt sich nach einem Durchlauf des vorliegenden Verfahrens bestimmen, kann aber auch einem fest vorgegebenen Wert entsprechen. Das Array wird so lange mit neu aufgenommenen Füllstandhüllkurven aufgefüllt, bis die maximale Spaltenanzahl erreicht ist. Sobald diese erreicht ist, setzen die weiteren Verfahrensschritte des vorliegenden Verfahrens ein, mit denen die Erwartungsbereiche für das nächste Array bzw. Zeitfenster berechnet werden. Die Anzahl der Spaltenzahl entspricht in jedem Array einem Zeitfenster, in dem die Echoverhältnisse eine gewisse Zeit zurückverfolgt werden können. Die maximale Anzahl der Zeilen ergibt sich aus dem Abstand der einzelnen Abtastpunkte des Analog-Digital-Wandlers und des maximalen Messbereichs des Sensors. Im Folgenden wird

kurz beschrieben, wie sich die Anzahl der Spalten im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmen lässt. Diese Vorgehensweise ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da bei gewöhnlichen Verhältnissen auch ausreichend gute Ergebnisse mit einer konstant festgesetzten Spaltenanzahl erreicht werden können.

Soll die maximale Anzahl der Spalten jedoch dynamisch bestimmt werden, hängt diese von der Befüllungsgeschwindigkeit und der Zeitabstände der einzelnen Füllstandhüllkurven (Zykluszeit) zueinander ab. Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden, der abwägt zwischen der Größe des Arrays und der Funktion der folgenden Algorithmen. Geht man beispielsweise von einer Füllgeschwindigkeit  $v$  von ca. 2,3 m/h aus und wird zur Verfolgung des Füllstandes der Verlauf des letzten halben Meters als ausreichend betrachtet (dieser Wert sollte auf jeden Fall größer als die Breite eines Echos sein), dann müsste das Array gemäß

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{\Delta v}$$

ein Zeitfenster von ca. 13 Minuten umfassen.

Die Anzahl der Spalten  $z$  ergibt sich nun aus dem abzuspeichernden Zeithorizont (13 min.) und der Zykluszeit des Sensors. Bei einer Zykluszeit  $f$  von  $1^{1/3}$ /s würde sich somit eine Anzahl an Spalten  $z$  von 780 [-] gemäß

$$z = \Delta t \cdot f$$

ergeben.

Da sich nun bei dieser Befüllungsgeschwindigkeit das Füllstandecho von Hüllkurve zu Hüllkurve nur um 0,64 mm bewegen würde, wäre es hier möglich, für die Verfolgung des

Echos einen größeren Zeitabstand zu verwenden. Somit wäre es im vorliegenden Beispiel sicherlich ausreichend, Hüllkurven nur etwa in einem Abstand von 6,4 cm abzuspeichern, womit sich die maximale Zahl  $z$  der Spalten auf 78 reduzieren würde.

Da nach einmaligen Durchlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens unter anderem als Ergebnis die Befüllungsgeschwindigkeit vorliegt, kann damit die Arraygröße bestimmt werden. Eine derartige Anpassung der Arraygröße ist zwar wünschenswert, da dadurch Speicherplatz und Rechenzeit eingespart werden kann, ist jedoch andererseits nicht dringend erforderlich, da mit einer konstanten Arraygröße bei nicht außergewöhnlichen Befüllungsvorgängen sich ebenso gute Ergebnisse erzielen lassen.

In der Fig. 6 ist nun eine mögliche Vorgehensweise für das erfindungsgemäße Verfahren in einem Flussdiagramm veranschaulicht. Nachdem das Verfahren in Schritt 100 gestartet wurde, wird in Schritt 110 damit begonnen, die durch einen Analog-Digital-Wandler abgetastete Füllstandhüllkurven in einem Array abzuspeichern. Dieser Schritt wurde bereits schon bei der Fig. 5 eingehend beschrieben. In dem nächsten Verfahrensschritt 120 wird mittels einer logischen Abfrage entschieden, ob das Array bereits komplett mit aus in der Vergangenheit liegenden Echodata von Füllstandhüllkurven beschrieben ist. Sollte dem nicht so sein, so wird der Schritt 110 in einer Schleife so lange ausgeführt, bis das Array mit Füllstandhüllkurven gefüllt ist.

Sobald das Array mit  $z$  Füllstandhüllkurven voll beschrieben ist, wird in dem nächsten Verfahrensschritt 130 damit begonnen, unerwünschte Signalanteile, wie z.B. Rauschen, auszufiltern, wodurch eine Reduzierung der zu verarbeitenden Datenmenge erreicht werden kann. Diese Filterung erfolgt mit an sich bekannten Methoden der Bildverarbeitung.

Im Falle, dass, wie bereits eingangs beschrieben, die Erwartungsbereichsbestimmung schon nach jeder  $n$ -ten ( $n \in \mathbb{N}^*$ ,  $n < z$ ) neu registrierten Füllstandhüllkurve erfolgt, wird in Schritt

110 zusätzlich eine Umspeicherung der in dem Array abgelegten Füllstandskurven bzw. der entsprechenden Echodata erforderlich. Dies kann beispielsweise so erfolgen, dass die ältesten  $n$  Füllstandshüllkurven gelöscht werden, die verbleibenden  $z-n$  Füllstandshüllkurven um  $n$  Spalten verschoben werden, und die so frei werdenden  $n$  Spalten in einer Schleife in Schritt 110 so lange aufgefüllt werden, bis das Array wieder mit Füllstandshüllkurven voll belegt ist.

In den Fig. 7 und 8 ist der in Schritt 130 beschriebene Bildverarbeitungsalgorithmus nummerisch dargestellt. Die Fig. 7 ist hierbei ein exemplarischer Ausschnitt des Arrays, das in den Schritten 110 mit Füllstandshüllkurven aufgefüllt wurde. Wie hier zu erkennen ist, verändert das Echo mit der Amplitude 25 in Abhängigkeit der Zeit seinen Ort. In Schritt 130 werden nun mit Methoden der Bildverarbeitung, wie der Selektion die Parameter jedes Echos ermittelt. Als Echobreite wird in Fig. 7 beispielsweise bei jedem Echo der Füllstandskurve die Anzahl der Ortseinheiten zwischen den beiden Zahlen "9" angenommen. Durch diese beiden Zahlen werden ebenfalls sowohl Anfang als auch Ende des Echos festgestellt. Mit einem Algorithmus zur Maximumbestimmung (vgl. auch Schritt 140) wird aus jedem Echo der Maximalwert herausgefiltert. In Fig. 7 ergibt sich dieser Maximumwert in der Serie von Hüllkurven jeweils zu 25. Die so aufgefundenen Parameter werden unabhängig von dem Array gespeichert, so dass als Ergebnis dieser Bildverarbeitungsalgorithmen lediglich das in Fig. 8 dargestellte Array, in dem nur noch die Maximumwerte beziffert sind, übrig bleibt. Das in Fig. 8 dargestellte Array wird in Schritt 180 dann weiterverarbeitet.

In Schritt 140 wird jede einzelne Füllstandshüllkurve auf Maximumwerte, also auf Amplituden der einzelnen Echos untersucht. Hierzu kommen andere bekannte Verfahren der Bildverarbeitung, wie beispielsweise ein Algorithmus zur Maximumsuche zum Einsatz. Die so aufgefundenen Echos werden dabei durch ihre zugehörigen Parameter, wie beispielsweise Ort, Amplitude, Anfang und Ende genauer quantifiziert.

In Schritt 150 findet eine Abfrage statt, ob für das aktuelle Zeitfenster bereits in der Vergangenheit Erwartungsbereiche bestimmt wurden, denen die in Schritt 140 detektierten Echos zugeordnet werden können. Sind noch keine Erwartungsbereiche vorhanden, so muss der Schritt 160 übersprungen werden, und der Füllstand muss in Schritt 170 ohne Vergangenheitsinformation bestimmt werden. Zur Bestimmung des Füllstandes kann dann beispielsweise von dem Echo mit der größten Amplitude ausgegangen werden.

Wurden jedoch für das aktuelle Zeitfenster Erwartungsbereiche bestimmt, werden die im Schritt 140 zuvor aufgefundenen Echos anhand ihrer Parameter den Erwartungsbereichen und den damit vergangenen Echos zugeordnet. Diese Zuordnung zu den Erwartungsbereichen erfolgt in Schritt 160. Kann in diesem Schritt ein Echo einem Erwartungsbereich zugewiesen werden, so kann mit einer vorausbestimmbaren Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass dieses Echo nicht fälschlicherweise diesem Erwartungsbereich zugeordnet wurde. Wurde dem Erwartungsbereich beispielsweise eine Bereichsbreite von der sechsfachen Standardabweichung der Echos im letzten Zeitfenster zugewiesen, so kann im aktuellen Zeitfenster mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,7 % davon ausgegangen werden, dass ein Echo, das dem Erwartungsbereich zugeordnet wurde, nicht fälschlicherweise diesem zugewiesen wurde und es kann in Schritt 170 der Füllstand bestimmt werden..

Können im aktuellen Zeitfenster einzelne Echos keinem Erwartungsbereich zugeordnet werden, dürfen diese für die Berücksichtigung der Erwartungsbereiche für das nächste in Zukunft liegende Zeitfenster nicht berücksichtigt werden und müssen verworfen werden. Ebenfalls ist es möglich, dass in den Erwartungsbereich des Füllstandes kein Echo zugeordnet werden kann. Hier ist es beispielsweise möglich, dass das Echo z.B. durch eine beginnende Füllung verschwunden ist. In diesem Falle sollte der Ort und die Zeit des Verlustes des Füllstandechos gespeichert werden, um dies bei der Bestimmung des zukünftigen Erwartungsbereichs berücksichtigen zu können.

In den Schritten 180, 190 und 200 werden nun anschließend die Erwartungsbereiche für das nächste in Zukunft liegende Zeitfenster berechnet. In Schritt 180 werden hierzu zunächst die Verläufe der Echos in dem Array mit Hilfe eines Kantendetektionsalgorithmus erkannt, d.h. es werden zu einem bestimmten Echo korrelierende Amplituden gesucht.

In Fig. 9 und Fig. 10 wird hierfür beispielhaft ein mögliches Verfahren verdeutlicht. Die dort dargestellten Arrays entsprechen einem exemplarischen Ausschnitt aus einem Füllstandhüllkurvenarray gemäß der Fig. 8 mit den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude. Geht man in Fig. 9 nun von der ersten Zeile in der ersten Spalte aus und wandert nach unten, gelangt man in der zweiten Zeile zum ersten Echo. Diesem Echo wird die Nummer 1 vergeben und trägt diese in die entsprechende Zelle der in Fig. 10 dargestellten Arrays ein. Von diesem Startpunkt aus wird anschließend die nächstliegende Umgebung punktweise analysiert, um so zu der Spalte und Zeile mit dem höchsten Nachbarschaftswert zu gelangen. Diesem Nachbarschaftswert wird die entsprechende Nummer, im vorliegenden Falle die Nummer 1, vergeben, welche anschließend wiederum in die entsprechende Zelle des in Fig. 10 dargestellten Arrays eingetragen wird. Diese Vorgehensweise wird fortgeführt, bis man am Ende des Arrays angekommen ist, oder bis sich die "Spur" des Echos verliert. Danach wird ein Startwert für das nächste Echo gesucht und das Verfahren wird entsprechend fortgeführt. Mit diesem Verfahren erhält man schließlich das in Fig. 10 dargestellte Array, in dem die Verläufe der beiden Echos der Fig. 9 durch ihre Nummern hervorgehoben sind. Auf diese Weise werden die zu jedem Echo gehörenden Kanten erkannt.

Aus den so aufgefundenen Kantenverläufen können nun in Schritt 190 durch geeignete Kurvenapproximationsverfahren, wie beispielsweise eine Polynominterpolation, eine Spline-Interpolation, eine Regressionsanalyse oder eine Korrelationsanalyse Gleichungen ermittelt werden, die die in Schritt 180 aufgefundenen Kantenverläufe annähern. Beispielsweise werden mit einer Regressionsrechnung die Parameter einer geraden oder eines Polynoms bestimmt, die den Verlauf der Kanten annähern. Für den Fall, dass die jeweiligen Zeitfenster

eine bestimmte Größe jedoch nicht überschreiten und dass die Zykluszeit der einzelnen Füllstandhüllkurven nicht zu groß gewählt ist, ist in erster Näherung eine Annäherung der Kantenverläufe durch eine lineare Regression als ausreichend gut zu beurteilen.

Auf den mit der Nummer 1 bezeichneten Kantenverlauf des in Fig. 10 dargestellten Arrays angewendet, ergibt sich somit eine Gerade wie folgt:

Werden die Spalten des Arrays in der Fig. 3b mit  $x$  und die zugehörigen Zeilen mit  $y$  bezeichnet, so ergeben sich die Parameter  $a, b$  der Geraden

$$y = a \cdot x + b$$

zu

$$b = \frac{\sum y_i \cdot \sum x_i^2 - \sum x_i \cdot \sum x_i y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$a = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum y_i \cdot \sum x_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Auf das Echo mit der Nummer 1 des in Fig. 10 dargestellten Arrays angewendet, ergibt sich:

$$\sum y_i = 7 + 7 + 6 + 5 + 6 + 5 + 4 + 5 = 45$$

$$\sum x_i^2 = 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 + 49 + 64 = 204$$

$$\sum x_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 = 36$$

$$\sum x_i y_i = 7 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 6 \cdot 5 + 5 \cdot 6 + 4 \cdot 7 + 5 \cdot 8 = 187$$

daraus folgt:

$$b = \frac{45 \cdot 204 - 36 \cdot 187}{8 \cdot 204 - 36 \cdot 36} \approx 7$$

$$a = \frac{8 \cdot 187 - 45 \cdot 36}{8 \cdot 204 - 36 \cdot 36} \approx -0,4$$

Daraus ergibt sich die Gleichung der Geraden zu

$$y = -0,4 \cdot x + 7 .$$

Die Steigung der so berechneten Geraden entspricht im Falle, dass das Echo mit der Nummer 1 das Füllstandecho ist, der Befüllungsgeschwindigkeit. Mit diesem Wert lässt sich, wie bereits beschrieben, eine Anpassung der Arraygröße für das nächste Zeitfenster vornehmen.

Geht man davon aus, dass die Streuungen des tatsächlichen Verlaufs statistisch um den Trend, der durch die ermittelten Geraden repräsentiert wird, verteilt ist, werden gemäß Schritt 200 bestimmte Verteilungsparameter aus den Streuungen ermittelt. Im Wesentlichen ist davon auszugehen, dass die Echos um den Trend, der durch die ermittelten Geraden repräsentiert wird, normal verteilt sind. Jedoch lässt sich auch jede andere Verteilungsfunktion zur Berechnung bestimmter Verteilungsparameter, wie beispielsweise die Exponentialverteilung, logarithmische Normalverteilung, die Weibull-Verteilung oder die Gamma-Verteilung zu Grunde legen. Im vorliegenden Falle wird jedoch von einer Normalverteilung der einzelnen Echos ausgegangen.

Aus der so angenäherten Geraden und den tatsächlichen Werten kann somit ein Schätzwert für die Varianz  $\sigma^2$ , bzw. die Standardabweichung  $\sigma$  berechnet werden:

$$\sigma^2 \approx \frac{1}{n-1} \cdot \sum (y_i - a \cdot x_i + b)^2$$

Im vorliegenden Falle also

$$\sigma^2 \approx \frac{1}{7} \cdot \left( (7-6,6)^2 + (7-6,2)^2 + (6-5,8)^2 + (5-5,4)^2 + (6-5)^2 + (5-4,6)^2 + (4-4,2)^2 + (5-3,8)^2 \right) = 0,429$$

Um beispielsweise mit 99,7 %-iger Wahrscheinlichkeit eine Aussage darüber treffen zu können, wie sicher ein Echo, das in einen Erwartungsbereich fällt, nicht fälschlicherweise diesem zugerechnet wurde, muss man einen Wert von  $3\sigma$  für den Bereich beiderseits um die den Trend repräsentierende Gerade zulassen. Somit ergeben sich für die Geraden, die den Erwartungsbereich abgrenzen, zu

$$y_{obereGrenze} = a \cdot x + b + 3\sigma = -0,4x + 8,96 \text{ und}$$

$$y_{untereGrenze} = a \cdot x + b - 3\sigma = -0,4x + 5,03.$$

Liegt nur ein Echo im nächsten Zeitfenster innerhalb dieses Erwartungsbereichs, so ist dieses Echo mit 99,7 %-iger Wahrscheinlichkeit das gleiche wie in den vergangenen Zyklen, so dass mit diesem so detektiertem Echo das Verfahren in Schritt 110 erneut durchlaufen werden kann.

Die Fig. 11 und 12 stellen Grauwertbilder des Arrays dar, in dem die Füllstandhüllkurven abgespeichert werden. Die Fig. 11 zeigt hierbei als helle, jedoch relativ breite Bereiche die Echos der Füllstandkurven vor der Bearbeitung. Die Fig. 12 zeigt im Wesentlichen die Echos der gleichen Füllstandhüllkurven wie die Fig. 11, jedoch unterscheidet sich die Darstellung der Fig. 12 gegenüber der Fig. 11 dadurch, dass das Grauwertbild durch die Methoden der

Bildverarbeitung, wie beispielsweise der Kantenfilterung wesentlich deutlicher und schärfer für das menschliche Auge zu erkennen ist. Eine derartige visualisierte Darstellung der Füllstandhüllkurven bzw. der Arrays als Grauwertbild kann einer Bedienperson beispielsweise dazu nützlich sein, um zu erkennen, ob der erfindungsgemäße Algorithmus richtig arbeitet, und falls nicht, in welcher Weise er eingreifen muss. Beispielsweise kann er unter Zuhilfenahme dieser Grauwertbilder entscheiden, ob die aktuelle Arraygröße möglicherweise zu klein gewählt ist, oder ob die Zykluszeiten von Füllstandhüllkurve zu Füllstandhüllkurve angepasst werden müssen.

In der Fig. 13 wird das erfindungsgemäße Verfahren nochmals anschaulich erläutert. Jedes dort dargestellte Zeitfenster umfasst acht Echos, wobei nach jedem achten Echo ein neuer Erwartungsbereich für die kommenden acht Echos berechnet wird. In der Fig. 13 sind fünf zeitlich aufeinander folgende Zeitfenster dargestellt. Geht man davon aus, dass das Zeitfenster 0 in der Vergangenheit liegt, so lässt sich der in Zeitfenster 1 gestrichelt dargestellte Erwartungsbereich aus den Amplituden des Echos aus Zeitfenster 0 bestimmen. Der Erwartungsbereich des Zeitfensters 1 ergibt sich dadurch, dass in Zeitfenster 0 zuerst die Ausgleichsgerade berechnet wird, durch die die dort sichtbaren Echos angenähert werden können. Diese Annäherungsgerade entspricht der durchgezogenen Linie in Zeitfenster 1. Anschließend wird aus den Abweichungen der Echos in Zeitfenster 0 gegenüber dieser Geraden die Standardabweichung berechnet. Unter Verwendung dieser Standardabweichung wird in Zeitfenster 1 die Breite des Erwartungsbereichs beiderseits der berechneten Trendgeraden bestimmt. Beträgt diese Breite beiderseits der Trendgeraden in Zeitfenster 1 beispielsweise das dreifache der Standardabweichung  $\sigma$ , so kann für Zeitfenster 1 mit 99,7 %iger Wahrscheinlichkeit eine Aussage darüber getroffen werden, ob die hier dargestellten und in diesen Erwartungsbereich hineinfallenden Echos dem Echo aus Zeitfenster 0 entsprechen.

Da im vorliegenden Falle somit davon ausgegangen werden kann, dass alle in Zeitfenster 1 in den Erwartungsbereich fallenden Echos tatsächlich diesem zugeordnet werden dürfen, kann

aus diesen Echos in analoger Weise die Trendgerade für Zeitfenster 2 sowie der sich darum liegende Erwartungsbereich bestimmt werden. In Zeitfenster 2 fallen abermals alle Echos in den gestrichelten Erwartungsbereich. Somit ist auch hier wieder davon auszugehen, dass alle Echos tatsächlich zu dieser Echoserie gehören, so dass aus diesen Echos wiederum die Trendgerade für das dritte Zeitfenster sowie der darum befindliche Erwartungsbereich berechnet werden darf. Legt man jedoch in Zeitfenster 2 die Ausgleichsgerade durch die einzelnen Echos, so ergibt sich daraus für Zeitfenster 3 eine gegenüber der Steigung des Erwartungsbereichs des Zeitfensters 2 stärker ansteigende Trendgerade. Da zu dem in Zeitfenster 2 die einzelnen Echodata weniger um die Ausgleichsgerade streuen, verschmälert sich somit auch für das Zeitfenster 3 die Breite des Erwartungsbereichs.

In Zeitfenster 3 ist zu erkennen, dass das dritte und das vierte Echo außerhalb des prognostizierten Erwartungsbereichs liegen. Die übrigen Echos hingegen liegen exakt auf der Trendgeraden des dritten Zeitfensters. Zur Prognose des vierten Zeitfensters dürfen somit das dritte und das vierte Echo nicht berücksichtigt werden, da diese außerhalb des Erwartungsbereichs des Zeitfensters 3 liegen und den Erwartungsbereich des Zeitfensters 4 sonst fälschlicherweise beeinflussen würden, so dass dieser stärker ansteigen würde als dargestellt. Da in Zeitfenster 3 die übrigen Echos exakt auf der Trendgeraden liegen, reduziert sich für Zeitfenster 4 der Erwartungsbereich auf die Trendgerade selbst. Dies ist jedoch eher eine akademische Betrachtungsweise, die in der Praxis normalerweise nicht anzutreffen sein dürfte.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Ultraschall- oder Radarfüllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störecho, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Ermitteln von zumindest einem ersten Füllstand- oder Störecho aus einer ersten Füllstandhüllkurve, wobei die erste Füllstandhüllkurve zu einem ersten Zeitpunkt generiert wurde,
- Ermitteln von zumindest einem zweiten Füllstand- oder Störecho aus zumindest einer zweiten Füllstandhüllkurve, wobei die zweite Füllstandskurve zu einem zweiten Zeitpunkt generiert wurde, der sich vom ersten Zeitpunkt unterscheidet,
- Bestimmen zumindest eines Erwartungsbereiches für ein Füllstand- oder Störecho unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens des ermittelten zumindest einen ersten Füllstand- oder Störechos und des ermittelten zumindest zweiten Füllstand- oder Störechos.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei das Verfahren weiter umfasst: Ermitteln von zumindest einem weiteren Füllstand- oder Störecho aus zumindest einer weiteren Füllstandhüllkurve, wobei die weitere Füllstandhüllkurve zu einem weiteren Zeitpunkt generiert wurde, der sich vom ersten und zweiten Zeitpunkt unterscheidet.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei der zumindest eine Erwartungsbereich zyklisch unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störechos bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei nach jeder von dem Füllstandmessgerät neu empfangenen Füllstandhüllkurve ein neuer

Erwartungsbereich bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei nach  $n$  neu von dem Füllstandmessgerät empfangenen Füllstandhüllkurven ein neuer Erwartungsbereich bestimmt wird, wobei gilt  $n \in \mathbb{N}^*$ .

6. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei das Verfahren des weiteren die folgenden Schritte umfasst:

- Abtasten einer von dem Füllstandmessgerät aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve durch einen Analog-Digital-Wandler;
- Ablegen der Echos der abgetasteten Füllstandhüllkurve mit ihren Echodata in einem Array vorbestimmbarer Größe;
- Aufbereiten der in dem Array abgelegten Echodata mit Methoden der Bildverarbeitung;
- Aufsuchen einzelner Echos in der aktuellen Füllstandhüllkurve;
- Zuordnen der aufgefundenen Echos zu in der Vergangenheit bestimmten Erwartungsbereichen für ein Füllstand- oder ein Störecho;
- falls ein Echo dem Erwartungsbereich für den Füllstand zugeordnet wird, damit Bestimmen des Füllstandes; und,
- wenn das Array mit Echodata belegt ist, Bestimmen eines neuen Erwartungsbereiches für in der Zukunft zu erwartende Echos.

7. Verfahren nach Anspruch 6,

wobei, wenn das Array mit Echodata belegt ist, die Erwartungsbereiche für den Füllstand und das Störecho unter Berücksichtigung der aus in der Vergangenheit in dem Array abgespeicherten, die Füllstandskurven repräsentierenden Echodata, die einem in der Vergangenheit liegenden Erwartungsbereich zuordnet werden konnten, bestimmt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6,

wobei die Echodata in dem Array mit den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude abgelegt werden;

9. Verfahren nach Anspruch 6,

wobei die Erwartungsbereiche bestimmt werden, indem die Echodata, die einem Erwartungsbereich der Vergangenheit zugeordnet werden konnten, mit einem Funktionsverlauf angenähert werden, und ein Abweichungsmaß der Echodata gegenüber dem so bestimmten Funktionsverlauf bestimmt wird, woraus sich für den zu bestimmenden Erwartungsbereich eine Bereichsbreite festlegen lässt.

10. Verfahren nach Anspruch 9,

wobei der Funktionsverlauf mit Hilfe eines Regressionsverfahrens, eines Polynominterpolationsverfahrens oder einem Approximationsverfahren bestimmt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9,

wobei als Abweichungsmaß ein Vielfaches der Standardabweichung der Echodata gegenüber dem Funktionsverlauf bestimmt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

wobei durch das Vielfache der Standardabweichung festgelegt wird, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein in der Zukunft in einem Erwartungsbereich befindliches Echo tatsächlich zu diesem Erwartungsbereich zugeordnet werden darf.

13. Verfahren nach Anspruch 11,

wobei aus der Steigung des Funktionsverlaufs für den Erwartungsbereich des Füllstandechos die aktuelle Änderung des Füllstandes bestimmt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13,  
wobei die Größe des Array, in dem die aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve abgelegt werden, der aktuellen Änderung des Füllstandes angepasst wird.

15. Auswerteeinrichtung zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Füllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho, wobei der zumindest eine Erwartungsbereich unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos bestimmt wird.

16. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 15,  
wobei der zumindest eine Erwartungsbereich zyklisch unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos, die einem in der Vergangenheit liegenden Erwartungsbereich zugeordnet werden konnten, bestimmt wird.

17. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 15,  
wobei die Auswerteeinrichtung mit einem Speicher ausgestattet ist, in dem jede aktuell empfangene Füllstandhüllkurve nach einer Analog-Digital-Wandlung mit ihren Echodata mit den Dimensionen Ort, Zeit und Amplitude in einem Array vorbestimmbarer Größe abgelegt wird.

18. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 15,  
wobei die Auswerteeinrichtung weiterhin eine Bildverarbeitungseinheit umfasst, die die in dem Array mit ihren abgespeicherten Echodata der Füllstandhüllkurven aufbereitet und darin befindlichen einzelnen Echos aufsucht;

19. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 15,  
wobei die Auswerteeinrichtung so ausgestaltet ist, um die aufgefundenen Einzelechos den in

der Vergangenheit bestimmten Erwartungsbereichen für das Füllstand- oder das Störecho zuzuordnen und um aus einem dem Erwartungsbereich für den Füllstand zugeordneten Echo den Füllstand zu bestimmen.

20. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 19,  
wobei die Auswerteeinrichtung weiterhin so ausgestaltet ist, um, sobald das Array mit Echodata belegt ist, einen neuen Erwartungsbereiches für in der Zukunft zu erwartende Echodata zu bestimmen.

21. Auswerteeinrichtung nach Ansprüche 15,  
wobei die Auswerteeinrichtung derart ausgestaltet ist, um die Erwartungsbereiche für den Füllstand und das Störecho unter Berücksichtigung der aus in der Vergangenheit in dem Array abgespeicherten, die Füllstandkurven repräsentierenden Echodata, die einem Erwartungsbereich zuordnet werden konnten, zu bestimmen.

22. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 21,  
wobei die Auswerteeinrichtung eine Signalverarbeitungseinheit aufweist, die die Erwartungsbereiche bestimmt, indem sie die Echodata, die einem Erwartungsbereich der Vergangenheit zugeordnet wurden, mit einem Funktionsverlauf annähert, und ein Abweichungsmaß der Echodata gegenüber dem so bestimmten Funktionsverlauf bestimmt.

23. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 22,  
wobei die Signalverarbeitungseinheit den Funktionsverlauf mit Hilfe eines Regressionsverfahrens, eines Polynominterpolationsverfahrens oder einem Approximationsverfahren bestimmt.

24. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 22,  
wobei die Signalverarbeitungseinheit als Abweichungsmaß ein Vielfaches der

Standardabweichung der Echodata gegenuber dem Funktionsverlauf bestimmt.

25. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 22,

wobei die Groesse des Arrays, das in dem Speicher der Auswerteeinheit abgelegt wird und in dem die aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve abgelegt werden, dynamisch an die aktuelle Änderung des Füllstandes, die durch die Steigung des Funktionsverlaufs repräsentiert wird, anpassbar ist.

26. Auswerteeinrichtung nach Anspruch 15,

wobei die Auswerteeinrichtung in einem Füllstandmessgerät integriert ist.

27. Auswerteeinrichtung nach Ansprüche 15,

wobei die Auswerteeinrichtung von einem Füllstandmessgerät beabstandet ist und über eine Datenverbindung mit dem Füllstandmessgerät verbunden ist.

28. Computerprogramm zur Bestimmung zumindest eines Erwartungsbereiches für ein von einem Ultraschall- oder Radärfüllstandmessgerät erzeugtes Füllstand- oder Störencho, wobei das Computerprogramm Anweisungen aufweist, um den zumindest einen Erwartungsbereich zyklisch unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von zumindest zwei in der Vergangenheit liegenden Füllstand- oder Störenchos, die einem in der Vergangenheit liegenden Erwartungsbereich zugeordnet werden konnten, zu bestimmen.

29. Computerprogramm nach Anspruch 28,

wobei die Anweisungen die folgen Verfahrensschritte ausführen

- Abtasten einer von dem Füllstandmessgerät aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve durch einen Analog-Digital-Wandler;
- Ablegen der Echos der abgetasteten Füllstandhüllkurve mit ihren Echodata in einem Array vorbestimmbarer Größe;

- Aufbereiten der in dem Array abgelegten Echodata mit Methoden der Bildverarbeitung;
- Aufsuchen einzelner Echos in der aktuellen Füllstandhüllkurve;
- Zuordnen der aufgefundenen Echos zu in der Vergangenheit bestimmten Erwartungsbereichen für ein Füllstand- oder ein Störencho;
- falls ein Echo dem Erwartungsbereich für den Füllstand zugeordnet wird, damit Bestimmen des Füllstandes; und,
- wenn das Array mit Echodata belegt ist, Bestimmen eines neuen Erwartungsbereiches für in der Zukunft zu erwartende Echos.

30. Computerprogrammprodukt, das direkt in den Speicher eines Computers geladen werden kann, und das Anweisungen aufweist, um die folgenden Verfahrensschritte folgenden auszuführen, wenn das Produkt auf einen Computer geladen ist:

- Abtasten einer von dem Füllstandmessgerät aktuell empfangenen Füllstandhüllkurve durch einen Analog-Digital-Wandler;
- Ablegen der Echos der abgetasteten Füllstandhüllkurve mit ihren Echodata in einem Array vorgegebener Größe;
- Aufbereiten der in dem Array abgelegten Echodata mit Methoden der Bildverarbeitung;
- Aufsuchen einzelner Echos in der aktuellen Füllstandhüllkurve;
- Zuordnen der aufgefundenen Echos zu in der Vergangenheit bestimmten Erwartungsbereichen für ein Füllstand- oder ein Störencho;
- falls ein Echo dem Erwartungsbereich für den Füllstand zugeordnet wird, damit Bestimmen des Füllstandes; und,
- wenn das Array mit Echodata belegt ist, Bestimmen eines neuen Erwartungsbereiches für in der Zukunft zu erwartende Echos.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Erwartungsbereichen, denen Echos aus einer von einem Füllstandmessgerät (10) erzeugten Füllstandhüllkurve zugeordnet werden. Die Bestimmung dieser Erwartungsbereiche erfolgt unter Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens von in der Vergangenheit liegenden Echodataen. Indem diese Erwartungsbereiche eine vorbestimmbare Bereichsbreite aufweisen, kann mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit eine Aussage darüber getroffen werden, ob ein einem solchen Bereich zugeordnetes Echo – sei es ein Füllstand- oder ein Störecho – nicht fälschlicherweise diesem Bereich zugewiesen wurde. Wurde beispielsweise ein Erwartungsbereich für ein Füllstandecho prognostiziert, so kann mit einer vorbestimmbaren Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass ein Echo, das in diesen Erwartungsbereich fällt, tatsächlich ein Füllstandecho ist. Ferner betrifft die Erfindung eine zur Durchführung dieses Verfahrens ausgebildete Auswerteeinrichtung (20). Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung ein Computerprogramm sowie ein Computerprogrammprodukt, das Anweisungen zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist.

(Fig. 6)